Zahl der Sekundärelektronen aus Metallfolien, ausgelöst durch die Gammastrahlen von Thor C″

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen
vorgelegt

von

Ewald Fünfer
aus Tübingen

Druck der Buchdruckerei Eugen Göbel in Tübingen
1933

Referent: Professor Dr. H. Geiger
Dekan: Professor Dr. F. Machatschki

Tag der mündlichen Prüfung: 17. November 1932

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhalt.

		Seite
§ 1.	Einleitung	5
§ 2.	Messung von Sättigungsdicken	6
§ 3.	Diskussion der Messungen von Sättigungsdicken	10
§ 4.	Einfluß der Streustrahlung auf die Messungen	11
§ 5.	Quantitative Zählung der sekundären β-Strahlen	15
§ 6.	Zusammenfassung	21

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550010_0044

§ 1.

Einleitung.

Beim Durchgang von γ-Strahlen durch Materie treten Wechselwirkungen zwischen γ-Quant und den Elektronen der betreffenden Atome auf, die theoretisch zuerst von Compton 1923 gedeutet wurden. Er nahm an, daß zwischen γ-Quant und Elektron ein elastischer Stoß stattfindet, wobei das Quant einen Teil seiner Energie an das Elektron abgibt und infolgedessen seine Richtung und Frequenz ändert. Die aufgenommene Energie befähigt das Elektron, die Atomhülle mit einer gewissen Geschwindigkeit zu verlassen. Die Aussagen der Theorie über die Frequenzänderung der gestreuten Strahlung mit dem Streuwinkel wurden experimentell bestätigt. Bei der Untersuchung der gestreuten Elektronen liegen die Schwierigkeiten in dem Geschwindigkeitsverlust und der starken Streuung der Elektronen in der Materie, weshalb die Verwendung sehr dünner Folien nötig wäre, was aber aus Intensitätsgründen nicht möglich ist. Außer dem Comptoneffekt spielt auch der Photoeffekt noch eine Rolle bei der Absorption von γ-Strahlen, wenngleich im Gebiet der kurzwelligsten γ-Strahlung und bei leichten Atomen die Comptonprozesse sehr stark überwiegen. Die experimentell ermittelten Absorptionskoeffizienten geben die Gesamtabsorption durch Compton- und Photoeffekt an.

Die schon vor Entdeckung des Comptoneffektes ausgeführten Arbeiten hatten im wesentlichen qualitative Beiträge zur Abhängigkeit der Intensität der Streustrahlung von Material und Streurichtung geliefert. Die Ergebnisse sind mit der Theorie zu vereinigen. Vor allem zu nennen sind die Arbeiten von Bragg und Madsen[1]), Kohlrausch und Schrödinger[2]), Prelinger[3]) und Enderle[4]). Schon die umfangreichen Arbeiten von Bragg und Madsen brachten fast alle wichtigen Ergebnisse über die Natur der sekundären β-Strahlung. Kohlrausch und Schrödinger, Prelinger und En-

[1]) W. H. Bragg und I. P. V. Madsen, Phil. Mag. 16, S. 918, 1908. Phil. Mag. 17, S. 423, 1908.

[2]) K. W. F. Kohlrausch und E. Schrödinger, Wien. Ber. 123, S. 1319, 1914.

[3]) H. Prelinger, Wien. Ber. 130, S. 279, 1921.

[4]) A. Enderle, Wien. Ber. 131, S. 89, 1922.

derle untersuchten die Abhängigkeit dieser β-Strahlung von Dicke und Material der bestrahlten Platte und der Einfallsrichtung der γ-Strahlung. Sie bestimmten für eine große Zahl von Metallen die Sättigungsdicken (§ 2.) für Eintrittsstrahlung und Austrittsstrahlung. Die bestrahlte Substanz setzten sie als Elektrode in ihre Ionisationskammer und konnten auf diese Weise sehr dünne Folien verwenden. Es wurde die γ-Strahlung von Radium B + C verwendet, die aus Intensitätsgründen nur schwach gefiltert werden konnte, so daß die Strahlung stark inhomogen war. Kovarik[5]) benützte zur Zählung der γ-Strahlen von Radium und zur Bestimmung der Sättigungsdicken den Geiger'schen Spitzenzähler. H. Fränz[6]) untersuchte, ebenfalls mit dem Spitzenzähler, die Richtungsverteilung der Comptonelektronen, die er aus dünnen Folien auslöste, während von Skobelzyn[7]) mit der Wilsonkammer die Richtungsverteilung der in Luft ausgelösten Elektronen gemessen wurde.

Die seitherigen Messungen sind beeinträchtigt durch die Inhomogenität der verwendeten γ-Strahlung. Außerdem waren die Streustrahler teilweise so dick, daß eine merkliche Absorption der sekundären β-Strahlung in der streuenden Substanz selbst auftrat.

In der vorliegenden Arbeit wurden die sekundären β-Strahlen mit dem Geiger-Müller-Zählrohr gezählt. Die große Empfindlichkeit des Zählrohres gestattete die Anwendung sehr dünnner Streustrahler. Als γ-Strahlenquelle wurde Radiothor im Gleichgewicht mit seinen Zerfallsprodukten benützt, von denen das Thor C″ nach Filterung durch 3 cm Blei eine annähernd homogene Strahlung der Wellenlänge 4,7 X. E. aussendet.

§ 2.

Messung von Sättigungsdicken.

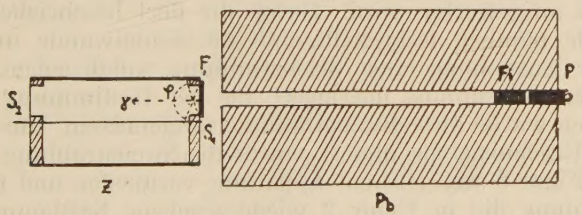
Bestrahlt man eine Substanz mit γ-Strahlen, so werden in ihr sekundäre β-Strahlen ausgelöst. Diese Auslösung erfolgt durch Compton- oder Photoprozesse. Die ausgelösten β-Strahlen bilden deshalb verschiedene Winkel mit der Richtung der primären γ-Strahlung. Außerdem erfahren sie zum Teil noch eine weitere Richtungsänderung durch Streuung in der Substanz selbst. Die β-Strahlen haben deshalb in den verschiedenen Richtungen verschiedene Härte und Intensität. Je größer nun die Schichtdicke ist, welche die γ-Strahlen durchsetzen, desto mehr β-Strahlen werden ausgelöst. Trotzdem nimmt die Zahl der β-Strahlen, welche die Substanz verlassen und gezählt werden können, nicht unbegrenzt mit wachsender Schichtdicke zu, son-

[5]) A. F. Kovarik, Phys. Rev. 23, S. 559, 1924.
[6]) H. Fränz, Z. Phys. 39, S. 92, 1928.
[7]) D. Skobelzyn, Nature 123, S. 411, 1929.

dern nähert sich einem Grenzwert, der dadurch bedingt ist, daß die β-Strahlen eine bestimmte Schichtdicke infolge Streuungs- und Geschwindigkeitsverlusten nicht mehr durchlaufen können. Diesen Wert pflegt man als Sättigungsdicke zu bezeichnen. Die Zahl der aus der Substanz austretenden β-Strahlen nimmt also bis zur Sättigungsdicke zu und nimmt dann infolge der Absorption der primären γ-Strahlung langsam wieder ab. Nimmt die Härte der γ-Strahlung zu, so vergrößert sich auch die mittlere Energie der sekundären β-Strahlen und damit die Sättigungsdicke. Da die β-Strahlen in den verschiedenen Richtungen verschiedene Intensität und Härte besitzen, so ändert sich mit der Richtung auch die Sättigungsdicke.

Bei den folgenden Messungen wurden die β-Strahlen allein erfaßt, die innerhalb eines bestimmten Raumwinkels die Folie verlassen hatten. Dieser Winkel war bei allen Versuchen, die die Bestimmung der Abhängigkeit der Sättigungsdicke von der Ordnungszahl des Streustrahlers zum Ziel hatten, konstant gehalten worden.

Für die Versuche wurde die Anordnung der Figur 1 benützt. Das Zählrohr Z enthält in seinen Hartgummistopfen zwei Zelluloidfenster S_1 und S_2, durch welche die γ-Strahlen hindurchlaufen. Am vorderen Fenster S_1 werden die Metallfolien F angebracht, aus denen die β-Strahlen ausgelöst werden sollen. Der ausgenützte Öffnungswinkel φ ist 140 Grad. Die Maße des benützten Zählrohrs sind: Durchmesser 4 cm, Länge 6 cm, Durchmesser der Zelluloidfenster 1,5 cm. Zur Ausblendung eines γ-Strahls wurde ein Bleikanal Pb von 40 cm Länge und 0,5 cm Durchmesser verwendet. Das Präparat P samt Filter Fi befand sich im Kanal.



Figur 1. Apparatur zur Bestimmung der Sättigungsdicke.

Die Zählrohrausschläge wurden automatisch registriert. Durch einen Zweiröhrenverstärker mit angeschaltetem Relais wurde ein mechanisches Zählwerk in Gang gestezt. Gleichzeitig war immer ein Lautsprecher an den Verstärker angeschlossen und ermöglichte so eine Kontrolle des Zählwerks. Innerhalb der für die vorliegenden Messungen in Betracht kommenden Ausschlagszahlen arbeitete das Zählwerk einwandfrei.

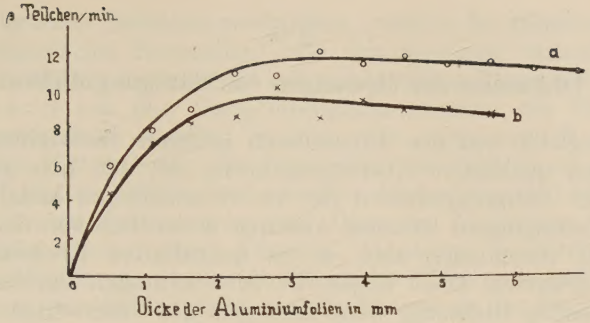
Die Messungen wurden in folgender Weise ausgeführt: Zunächst wurde der Nulleffekt, das heißt die Ausschlagszahl ohne Folie bestimmt. Dieser betrug bei gepanzerten Zählrohren etwa 40 Teilchen pro Minute. Dann wurde die Folie an der angegebenen Stelle in das Strahlenbündel eingesetzt und die Ausschlagszahl gemessen. Zum Schluß erfolgte eine erneute Messung des Nulleffekts. Aus der Differenz beider Werte ergab sich dann die Zahl der sekundären β-Strahlen, die aus der Folie allein ausgelöst wurden.

Es wurden die Sättigungsdicken der Metalle Aluminium, Kupfer, Zinn und Blei bestimmt. Die Werte sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Spalte 4 der Tabelle 1 enthält außerdem die Zahlen der bei Sättigungsdicke austretenden β-Strahlen in relativem Maß, auf Blei gleich 1 bezogen. Die einzelnen Meßpunkte sind in den Kurven der Figuren 2, 3, 4 zusammengefaßt. Für jede Kurve wurden dabei durchschnittlich 6000 β-Teilchen gezählt.

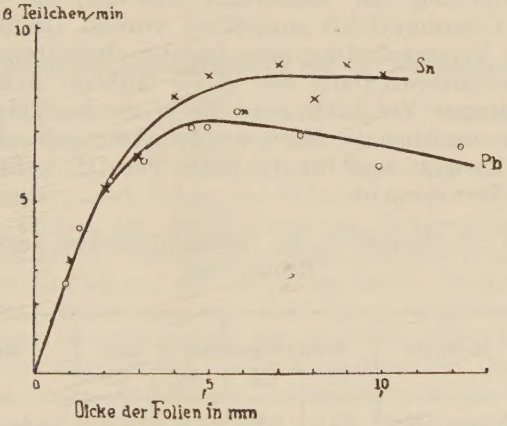
Tabelle 1. Sättigungsdicken.

1 Material	2 Ordnungszahl	3 Sättigungsdicke	4 Relativzahl d. austretenden β-Teilchen
Aluminium	13	$3{,}5 \pm 0{,}5$	2,2
Kupfer	29	$1{,}2 \pm 0{,}2$	1,7
Zinn	50	$0{,}7 \pm 0{,}15$	1,3
Blei	82	$0{,}5 \pm 0{,}1$	1,0

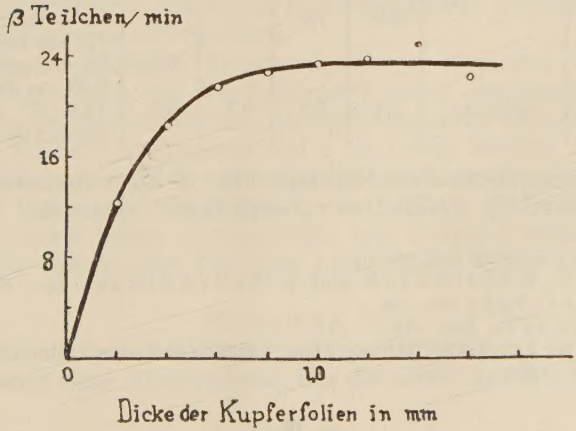
Die Kurve b der Figur 2 sollte in einer Frage Klärung bringen, die erst im § 4 aufgeworfen wird. Durch die dort beschriebenen Versuche wurde nämlich festgestellt, daß die Kanalwände unter Umständen zur Entstehung einer Streustrahlung Anlaß geben, die sich der primären γ-Strahlung überlagert. Bei der Bestimmung der Sättigungsdicken wurde diese Streustrahlung mitgemessen. Um zu sehen, ob dies am Ergebnis etwas ändert, wurde die Streustrahlung mit Hilfe der in § 4, Figur 8 angegebenen Apparatur vermieden und mit reiner Primärstrahlung die in Figur 2 wiedergegebene Sättigungskurve b gemessen. Da sich dabei kein Unterschied gegenüber Kurve a zeigte, (abgesehen von der Änderung der Intensität, welche in der Änderung der Stärke des Präparats ihre Ursache hat) so ist anzunehmen, daß die Streustrahlung keine wesentliche Härteänderung der Primärstrahlung bewirkt hat.



Figur 2. Sättigungskurven von Aluminium. Die γ-Strahlung ist durch 3 cm Blei gefiltert.



Figur. 3. Sättigungskurven von Zinn und Blei.



Figur 4. Sättigungskurve von Kupfer.

§ 3.

Diskussion der Messungen von Sättigungsdicken.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen früherer Beobachter zeigt im allgemeinen qualitative Übereinstimmung mit den hier gemessenen Werten der Sättigungsdicken für die verschiedenen Metalle. Da die Versuchsbedingungen früherer Arbeiten wesentlich von den hier angewandten verschieden sind, so ist quantitative Übereinstimmung nicht zu erwarten. Doch liegen die Abweichungen durchaus in der zu erwartenden Richtung, wenn man sich die Unterschiede der Meßmethoden vergegenwärtigt. Die heutigen Vorstellungen über die Auslösung von Sekundärelektronen sind wesentlich genauer als zur Zeit der Veröffentlichung der seitherigen Arbeiten, die alle vor Entdeckung des Comptoneffekts ausgeführt wurden. Deshalb lassen sich Einflüsse der Versuchsbedingungen leichter abschätzen. In Tabelle 2 folgt eine Zusammenstellung der Werte früherer Arbeiten mit den eigenen Messungen. Vergleicht man die Werte der Tabelle 2, so sieht man, daß mit zunehmender Härte der primären γ-Strahlung die Sättigungsdicke ansteigt, und für die harte Thor C″ γ-Strahlung ihren maximalen Wert erreicht.

Tabelle 2. Vergleich der Sättigungsdicken verschiedener Beobachter.

1 Beobachter	2 Methode	3 Sättigungsdicke in mm Al	Cu	Sn	Pb	4 Strahlenquelle
Kovarik [8])	Spitzenzähler	3,1	0,9	1,0	0,5	harte Ra.-γ-Strahlen
Kohlrausch	Ionisationsk.	2,0	0,5	0,3	0,3	schwach gefilterte Ra.-γ-Strahlen
Schrödinger [9])						
Prelinger [10])	„	3,0	1,0	—	0,4	Ra.-γ-Strahlung durch 3,5 cm Blei gefiltert
Enderle [11])	„	—	—	—	0,35	Ra.-γ-Strahlung durch 0,37 cm Blei gefiltert
Eigene Messungen	Zählrohr	3,4	1,2	0,7	0,5	Thor C″ γ-Strahlung durch 3 cm Blei gefiltert

Die Sättigungsdicke einer Substanz steht in Zusammenhang mit der von Lenard [12]) definierten „Grenzdicke“. Darunter wird die

[8]) A. F. Kovarik loc. cit.
[9]) K. W. F. Kohlrausch und E. Schrödinger loc. cit.
[10]) H. Prelinger loc. cit.
[11]) A. Enderle loc. cit.
[12]) P. Lenard, Quantitatives über Kathodenstrahlen aller Geschwindigkeiten, S. 63, 1925.

Schichtdicke einer Substanz verstanden, „welche die gegebene Strahlgeschwindigkeit bei Normallauf und den maximal vertretenen Geschwindigkeitsverlusten zu Null reduziert." Diese Grenzdicke berechnete Lenard aus den Geschwindigkeitsverlusten der Elektronen. Die Sättigungsdicke dagegen ist eine rein experimentell ermittelte Größe, deren Kenntnis für alle Messungen mit Elektronen von Wert ist. Es ist leicht ersichtlich, daß zwischen Grenzdicke und Sättigungsdicke ein Unterschied bestehen muß. Denn die Absorption von Elektronen erfolgt stärker durch Streuung als durch Geschwindigkeitsverluste. Infolgedessen werden die Wege der Elektronen größer und es genügt schon eine Schichtdicke, welche kleiner als die Grenzdicke ist, um die Elektronen zu absorbieren. Dieser Tatsache hat Lenard durch die Bestimmung des „Umwegfaktors" Rechnung getragen.

§ 4.

Einfluß der Streustrahlung auf die Messungen.

Zur Ausblendung eines γ-Strahls wird bei den Messungen ein Bleiklotz mit zylindrischer Bohrung von 0,5 cm Durchmesser verwendet. Dabei besteht die Gefahr, daß die primäre Strahlung von einer Streustrahlung überlagert wird, die an den Wänden des Kanals entsteht und die Messungen fälscht. Bei der Messung von Sättigungsdicken wurde durch einen besonderen Versuch festgestellt, daß eine eventuelle Streustrahlung ohne Einfluß auf die Ergebnisse bleibt. Dagegen ist es für die quantitative Bestimmung der Zahl der γ-Quanten unerläßlich, diese Frage genau zu untersuchen. Das Ergebnis dieser Messungen ist deshalb auch von allgemeinem Interesse, weil bei fast allen Versuchen mit γ-Strahlen durch Ausblenden in ähnlicher Weise wie hier ein definierter Strahl hergestellt werden muß. Vorversuche, bei denen die Breite des ausgeblendeten Strahls und das quadratische Abstandsgesetz geprüft wurden, ließen die Entstehung einer Streustrahlung an den Kanalwänden nicht erkennen.

Mit einem verfeinerten Verfahren, das im folgenden beschrieben wird, konnte jedoch das Vorhandensein einer Streustrahlung einwandfrei nachgewiesen werden. Als Meßinstrument wird ein Spitzenzähler von 0,5 cm Durchmesser und 1 cm Länge benützt, gelegentlich auch ein Zählrohr von den gleichen Dimensionen. Es werden nacheinander 4 Messungen ausgeführt, die in Figur 5 schematisch dargestellt sind. Dabei haben Spitzenzähler und Präparat einen konstanten Abstand voneinander und ihre Längsachsen liegen in derselben Richtung.

Messung 1:

Der Bleiklotz ist noch nicht vorhanden, das Präparat strahlt frei in die Umgebung ohne Ausblendung. Um die direkt auf den Zähler fal-

lende Strahlung zu erhalten, muß die von der Umgebung auf den Zähler gestreute Strahlung abgezogen werden. Die Bestimmung dieser Streustrahlung erfolgt in

Messung 2:

Hiebei ist die direkte Strahlung durch einen 20 cm langen Bleistab abgeschirmt, so daß nur noch die Streustrahlung auf den Zähler fällt.

Messung 3:

Gemessen wird die Strahlung, die auf den Zähler fällt, während der Kanal vorhanden ist. Die Anordnung ist so getroffen, daß der primäre Strahl in keiner Weise gegenüber Messung 1 und 2 verändert wird. Auch hier wird die Streustrahlung der Umgebung in ähnlicher Weise ermittelt wie in Messung 2. Dies geschieht in

Messung 4:

Die direkte Strahlung wird durch einen in den Kanal eingebrachten Bleistab abgeschirmt. Dieser Streubetrag war meistens wesentlich geringer, manchmal sogar verschwindend klein, da das Präparat durch Einschließen in den Bleipanzer geschützt war.

Die Messungen wurden mit gefilterter und ungefilterter Strahlung von Thor C″ und Radium ausgeführt. Ein Beispiel einer Messung mit Thor C″ ist in Tabelle 3 enthalten. Das wesentliche Ergebnis ist, daß im Falle gefilterter Strahlung eine merklich größere Streuung am Kanal in Erscheinung tritt als bei ungefilterter Strahlung.

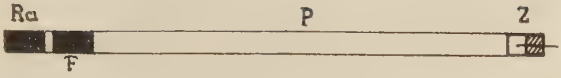
Tabelle 3: Beispiel einer Messung der Streustrahlung mit Thor C″.

Ungefilterte Strahlung			Gefilterte Strahlung		
1 Messung	2 Teilchen pro min	3 Gesamtzahl der Teilchen	4 Messung	5 Teilchen pro min	6 Gesamtzahl der Teilchen
1	9,59	1694	1	5,74	1331
2	1,69	686	2	3,58	1010
3	8,64	2271	3	3,08	1233
4	0	6	4	0	19

Die Größe der Streustrahlung berechnet sich aus der Differenz (3—4) — (1—2). Der natürliche Effekt ohne Präparat betrug 0,1 bis 0,3 Teilchen pro Minute und ist in den Spalten 2 und 5 der Tabelle 3 bereits berücksichtigt. Aus 3 Messungen derselben Art ergeben sich die in Tabelle 4 zusammengestellten Gesamtergebnisse. Der Anteil der Streustrahlung an der aus dem Kanal kommenden Gesamtstrahlung (3—4) ist in Prozenten angegeben.

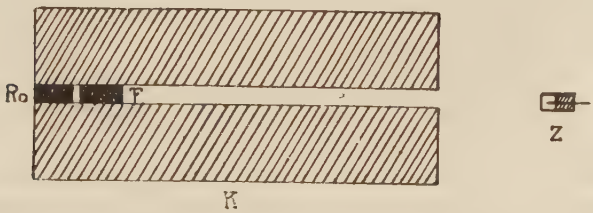
Meßschema.

Figur 5:

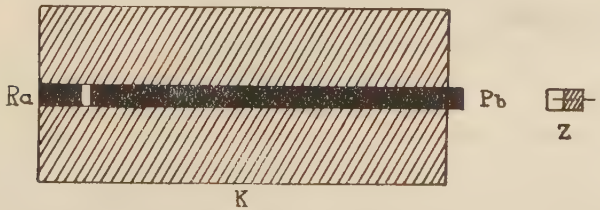


1: Kein Bleipanzer, P Papierrohr zur Justierung, Z Zähler, F Filter, Ra Strahlenquelle. Gemessen wird Primärstrahlung + Streustrahlung der Umgebung.

2: Kein Bleipanzer, Primärstrahlung durch einen Bleistab Pb von 20 cm Länge abgeschirmt. Gemessen wird die Streustrahlung der Umgebung allein.



3: Bleipanzer K mit zylindrischer Bohrung von 20 cm Länge und 0,5 cm Durchmesser. Gemessen wird Primärstrahlung + Streustrahlung der Kanalwände + Streustrahlung der Umgebung.



4: Mit Bleipanzer K. Primärstrahlung und Streustrahlung der Kanalwände sind durch einen Bleistab von 20 cm Länge abgeschirmt. Gemessen wird die Streustrahlung der Umgebung.

Tabelle 4: Gesamtergebnis der Streustrahlungsmessungen.

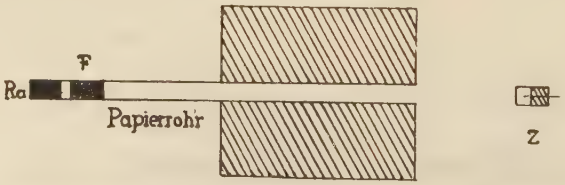
Streustrahlung in Prozenten der Gesamtstrahlung.

1 Strahlen- quelle	2 Ungefilterte Strahlung	3 Gefilterte Strahlung
Thor C"	9% ± 10%	33% ± 10%
Radium	8% ± 5%	39% ± 16%

Zur Bestimmung des Entstehungsorts der Streustrahlung im Kanal wurde die vordere, dem Zählrohr zugekehrte Hälfte des Kanals entfernt, während sich das Präparat samt Filter noch im hinteren Kanalende befand (Figur 6). Die Messung wurde mit Thor C" nach dem Schema der Figur 5 ausgeführt, und ergab bei Filterung durch 3 cm Blei einen Streubetrag von 29 % ± 7 %, also ebensoviel wie bei doppelt so langem Kanal. Daraus ist zu schließen, daß die vordere Kanalhälfte nicht wesentlich an der Entstehung der Streustrahlung beteiligt ist.

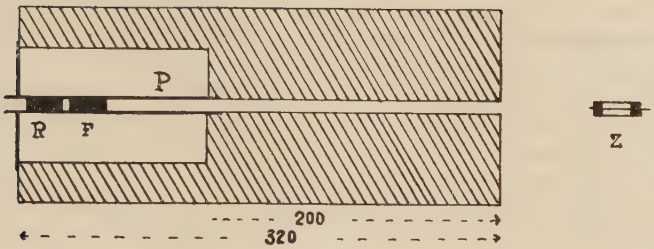
Figur 6: Bestimmung des Entstehungsorts der Streustrahlung.

Zur Erzielung einer wirklich homogenen Primärstrahlung ist es deshalb am besten, das Präparat außerhalb des Kanals anzubringen (Figur 7). Ein Versuch, der in dieser Art angestellt wurde, ließ keine Streustrahlung erkennen.



Figur 7: Präparat samt Filter außerhalb des Kanals. Es entsteht keine Streustrahlung.

Die Erkenntnisse, die bei diesen Versuchen gewonnen worden waren, wurden nun beim Bau einer Apparatur benützt, wobei die Entstehung von Streustrahlung dadurch vermieden wird, daß Präparat samt Filter außerhalb des Kanals angebracht werden (Figur 8).



Figur 8: Bleikanal zur Ausblendung einer homogenen γ-Strahlung. P Papierrohr, F Filter, R Präparat, Z Zählrohr.

Die Absorptionskurve für Blei in der Anordnung der Figur 8 ließ keine Inhomogenität der Strahlung erkennen, so daß im folgenden überall, wo es quantitative Zählung der γ-Quanten galt, mit dieser Apparatur gemessen wurde.

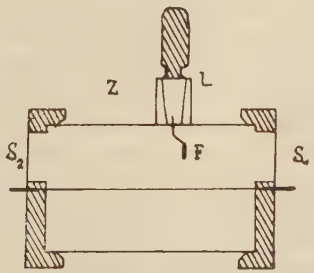
§ 5.

Quantitative Zählung der sekundären β-Strahlen.

Im folgenden wurde aus der Zahl der sekundären β-Strahlen mit Hilfe des bekannten Absorptionskoeffizienten der γ-Strahlung die absolute Zahl der auslösenden γ-Quanten berechnet. Zu diesem Zweck müssen also die sekundären β-Strahlen quantitativ gezählt werden.

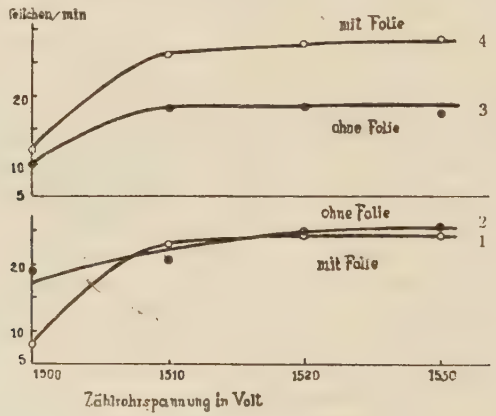
Aus den seitherigen Versuchen können keine Schlüsse auf die Absolutzahl der ausgelösten β-Strahlen gezogen werden, da erstens nicht über den ganzen Raumwinkel 4π gemessen wurde, zweitens auch die Folien nicht so dünn waren, daß die Absorption der sekundären β-Strahlung in der Folie selbst zu vernachlässigen gewesen wäre.

Die Apparatur mußte also für die Absolutmessungen so gestaltet werden, daß die sekundären β-Strahlen im ganzen Raumwinkel 4π gezählt werden können. Dazu wurde ein Zählrohr Z von 4 cm Durchmesser und 7 cm Länge benützt (Fig. 9), in dessen Inneres die Folie F an einem Schliff L schwenkbar eingebracht werden konnte.



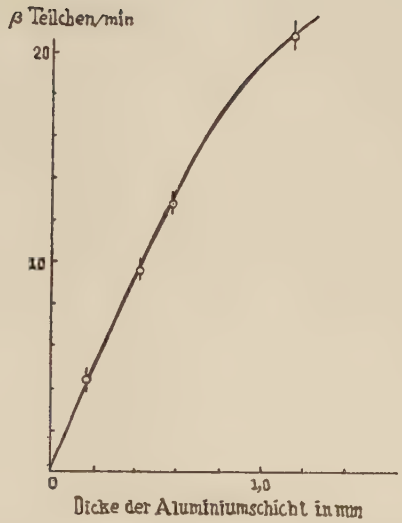
Figur 9: Zählrohr mit Metallfolie im Innern.

Vorversuche ergaben, daß das Zählrohr auch bei eingebrachter Folie einwandfrei arbeitete, und zwar gleichgültig, ob die Folie isoliert im Innern war oder in leitender Verbindung mit der Außenwand stand. Die Folien wurden auf einen ganz dünnen Messingring aufgeklebt, dessen äußerer Durchmesser 0,5 cm betrug. Der Ring war dauernd mit dem Schliff verbunden, so daß beim Auswechseln der Folien diese immer wieder an die gleiche Stelle im Zählrohr kamen. Die Folien hatten stets den gleichen Durchmesser wie der Ring, nämlich 0,5 cm. Dies war auch genau der Durchmesser des Bleikanals, durch den die γ-Strahlen ausgeblendet wurden. Die γ-Strahlen traten durch das Zelluloidfenster S_1 von 1,3 cm Durchmesser und etwa 20 μ Dicke in das Zählrohr ein und durch ein gleiches Fenster S_2 wieder aus. Je nach der Stellung des Schliffs durchsetzten sie die Folie oder nicht. Dabei war dafür gesorgt, daß die ausgeschwenkte Folie vom γ-Strahl nicht mehr getroffen werden konnte.

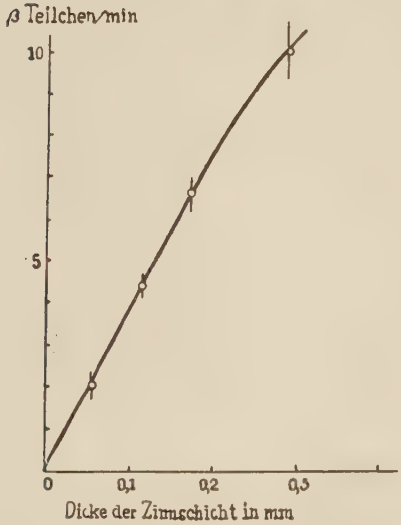


Figur 10: Beispiel einer Zählung der β-Teilchen.

Figur 10 erläutert das Beispiel einer Meßreihe. Dort sind 4 Kurven eingetragen. Bei Kurve 1 und 2 ist das Radiothor entfernt, sie unterscheiden sich aber dadurch, daß bei 1 die Folie gegen die Wand gedreht war, während sie sich bei 2 in der Stellung befand, in der sie später von den γ-Strahlen getroffen wurde. Man erkennt, daß im konstanten Zählbereich, also etwa zwischen 1510 und 1530 Volt die Kurven zusammenfallen. Das heißt also, daß die relativ nahe Lage der Folie am Zähldraht den Zählvorgang nicht merklich beeinflußt. Bei Kurve 3 und 4 durchsetzt der γ-Strahl das Zählrohr, bei 3 ist die Folie aus dem Strahl herausgeschwenkt, bei 4 liegt sie voll im Strahlenbündel. Die Differenz der beiden Kurven 3 und 4 gibt unmittelbar



Figur 11: Auslösung von β-Teilchen aus Aluminium.



Figur 12: Auslösung von β-Teilchen aus Zinn.

die Zahl der gezählten β-Teilchen an. Man erkennt, daß für genügend hohe Spannung dieser Wert ungeändert bleibt, da die Kurven 3 und 4 dort parallel verlaufen.

In der beschriebenen Weise wurde die Zahl der an dünnen Aluminium- und Zinnfolien ausgelösten β-Teilchen bestimmt. Die Figuren 11 und 12 zeigen, daß bei dünnen Folien die Zunahme der Teilchenzahl proportional der Dicke der durchstrahlten Schicht erfolgt. In den Figuren sind die Fehlergrenzen durch vertikale Striche angegeben.

Es verlassen also praktisch alle ausgelösten β-Strahlen die Folie. Beim Vergleich von Aluminium- und Zinnfolien ergab sich, daß bei Reduktion auf gleiche Präparatstärke und gleiche Elektronenzahl im absorbierenden Material wie zu erwarten auch dieselbe Zahl sekundärer β-Strahlen entsteht.

Da im folgenden die absolute Zahl der γ-Quanten bestimmt werden soll, so erhebt sich die Frage, ob das Zählrohr alle aus der Folie austretenden β-Teilchen erfaßt. Nach den Koinzidenzversuchen, die zum Beispiel von Geiger und Müller[13]), Bothe und Kohlhörster[14]) und Heidecke[15]) angestellt wurden, ist die Wahrscheinlichkeit sehr groß, daß praktisch alle das Zählrohr durchsetzenden Elektronen gezählt werden. Bei der hier benützten Anordnung könnte die Feldstörung durch die Folie im Zählrohr eine Änderung bewirkt haben. Daß dies nicht in erkennbarem Maß der Fall ist, zeigen die Versuche, bei denen die Folie im Zählrohr bewegt wurde, ohne daß eine Änderung der Empfindlichkeit zu bemerken war. Man kann deshalb sehr wahrscheinlich annehmen, daß die β-Teilchen, die in Richtung auf den Zähldraht zu und parallel zum Draht die Folie verlassen, vollständig gezählt werden. Dagegen wäre es denkbar, daß in einem gewissen Raum zwischen Folie und Zählrohrwand nicht alle β-Teilchen erfaßt werden. Falls dieser Fehler vorhanden ist, wird er aus zwei Gründen keine praktische Rolle spielen. Erstens kann ein derartiger toter Raum kein erheblicher Bruchteil des ganzen ausgenützten Raumwinkels sein, wie aus der Anordnung ohne weiteres ersichtlich ist, und zweitens ist die Zahl der Elektronen, die in diesen Winkelbereich gestreut werden, sowieso sehr klein, wie aus den früher (§ 1) zitierten Arbeiten über die Richtungsverteilung der Comptonelektronen hervorgeht.

Es wurde nun die Zahl der γ-Quanten bestimmt, die von 1 mg Radiothor[16]) pro Sekunde ausgesandt werden. Dazu wurde eine be-

---

[13]) H. Geiger und W. Müller, Phys. ZS. 30, 489, 1929.
[14]) W. Bothe und W. Kolhörster, ZS. f. Phys. 56, 751, 1929.
[15]) W. Heidecke, Tübinger Diss. 1931.
[16]) Die Radiothormenge wurde durch γ-Strahlmessung mit einem Radiumstandard verglichen, und zwar bei einer Bleifilterung von 6 mm. Dieser

sondere Messung mit einer 0,54 mm dicken Aluminiumfolie ausgeführt, wobei die Streustrahlung der Kanalwände durch Verwendung der in § 4, Figur 8 dargestellten Apparatur vermieden wurde. Die Aluminiumfolie wurde nicht mehr auf einen Messingring aufgeklebt, dessen Einfluß nicht vollständig zu eliminieren war, sondern sie hing an einem sehr dünnen Aluminiumstreifen, dessen Masse neben der der Folie vollständig zu vernachlässigen war. Der Einfluß von Streustrahlung und Ring war bei den seitherigen Messungen ohne Bedeutung gewesen und war deshalb auch nicht ausgeschaltet worden. Dagegen war die absolute Zahl der vom Präparat ausgesandten γ-Quanten nur zu erhalten, wenn außer der direkten Strahlung keine Streustrahlung auf die Folie auftreffen konnte und diese eine definierte Dicke hatte. Im übrigen wurden die Messungen nach dem Schema der Figur 10 in § 5 ausgeführt, und es zeigte sich auch hier, daß die Zahl der gezählten β-Teilchen innerhalb des Zählbereichs unabhängig von der Zählrohrspannung war. Die γ-Strahlung wurde durch 3 cm Blei gefiltert, so daß nur noch ihre härteste Komponente von 4,7 X. E. Wellenlänge zur Wirkung gelangte. Es wurden dabei $12{,}3 \pm 0{,}6$ β-Teilchen pro Minute aus der Aluminiumfolie ausgelöst. Bei Anwendung einer schwachen Filterung von 2 mm Aluminium, also bei inhomogener γ-Strahlung wurden 86 ± 3 β-Teilchen pro Minute aus derselben Folie erhalten. Im Falle homogener γ-Strahlung ließ sich nun mit Hilfe der bekannten Absorptionskoeffizienten[17]) der γ-Strahlung die Absolutzahl der γ-Quanten berechnen, die 1 mg Thor C″ pro Sekunde mit der Energie von $2{,}6 \cdot 10^6$ e-Volt aussendet. Sie ergab sich zu $(0{,}83 \pm 0{,}06) \cdot 10^7$ γ-Quanten pro Sekunde. Für die inhomogene γ-Strahlung ließ sich diese Berechnung nicht durchführen, da die nötigen Angaben über das γ-Spektrum von Thor C″ noch fehlen.

Es soll nun die Zahl der emittierten γ-Quanten mit der Zahl der zerfallenden Thor C″ Atome verglichen werden. Die Zahl der zerfallenden Atome läßt sich aus den Arbeiten von Shenstone und Schlundt[18]), Watson und Henderson[19]) entnehmen. Dort wird die Zahl der α-Teilchen eines Thor C -Präparats mit seiner

---

Wert nimmt infolge der größeren Härte der Radiothor-γ-Strahlung gegenüber Radium mit wachsender Filterdicke zu. Aus den Messungen von Shenstone und Schlundt, Watson und Henderson (siehe unten Fußnoten 18 und 19) läßt sich der für eine beistimmte Filterdicke gefundene Wert auf verschiedene andere Filterdicken umrechnen. Bei der handelsüblichen Dosierung von Radiothor ist ein 5 mm dickes Bleifilter üblich. Dabei ändert sich der Wert von 1 mg bei 6 mm Bleifilter auf 0,98 mg bei 5 mm Bleifilter.

[17]) Die Absorptionskoeffizienten wurden der Arbeit von Meitner und Hupfeld entnommen. L. Meitner und H. H. Hupfeld, ZS. f. Phys. 67, S. 147, 1931.

[18]) A. G. Shenstone und R. Schlundt, Phil. Mag. 43, S. 1038, 1922.

[19]) S. W. Watson und M. C. Henderson, Proc. Cambr. Phil. Soc. 24, S. 133, 1928.

γ-Aktivität verglichen. Es werden die langreichweitigen α-Strahlen von Thor C gezählt, und gleichzeitig für verschiedene Filterung die γ-Strahlung mit der eines Radiumstandards verglichen. Wurde bei der γ-Strahlmessung ein Bleifilter von 6 mm angewandt, so ergab sich, daß 1 mg Thor C $2{,}86 \cdot 10^7$ α-Teilchen der Reichweite 8,6 cm aussendet. Nun weiß man, daß 65 % der Thor C-Atome nach Thor C′ zerfallen, die restlichen 35 % nach Thor C″, so daß also $35/65 \cdot 2{,}86 \cdot 10^7 = 1{,}54 \cdot 10^7$ Thor C″-Atome zerfallen. Falls jedem zerfallenden Atom ein γ-Quant entsprechen würde, so hätte man insgesamt $1{,}54 \cdot 10^7$ γ-Quanten zu erwarten. Da auf die Linie 4.7 X. E. nach den eben ausgeführten Messungen $0{,}83 \cdot 10^7$ γ-Quanten entfallen, so bleibt ein Rest von $0{,}71 \cdot 10^7$ Quanten, über den nichts ausgesagt werden kann. Denn erstens braucht nicht notwendig bei jedem Atomzerfall gerade ein γ-Quant emittiert zu werden. Zweitens besteht die Möglichkeit, daß das Quant in der Hülle des Atoms, aus dessen Kern es stammt, sofort absorbiert wird, und zur Entstehung eines Photoelektrons führt. Die Größe dieser sogenannten inneren Absorption ist für einige radioaktive Substanzen durch Messung der Photoelektronen bestimmt worden. In Tabelle 5 wird eine Zusammenstellung der seitherigen Arbeiten über diese Fragen gegeben, woraus zu ersehen ist, daß zum Beispiel bei Radium D sehr viel weniger γ-Quanten als zerfallende Atome gefunden werden, der Restbetrag wurde in diesem Fall in der Atomhülle absorbiert.

Tabelle 5: Zusammenhang zwischen Emission von γ-Quanten und Zahl der zerfallenden Atome.

1 Radioaktive Substanz	2 Zahl der γ-Quanten pro zerfallenem Atom	3 Meßmethode	4 Beobachter
Ra B+C	1,0	Spitzenzähler	Kovarik[20])
Ra B+C	1,2	Zählrohr	Reiff[21])
Ra D	0,12	Elektroskop	Gray[22])
Ra D	0,03	Ionisationsk.	Bramson[23])
Ra D	0,024	„	Stahel und Sizoo[24])
Ra E	0,005	„	Bramson[23])

[20]) A. F. Kovarik, Phys. Rev. 23, S. 559, 1924.
[21]) G. Reiff, Tübinger Diss. 1932.
[22]) I. A. Gray, Nature 123, S. 568, 1929.
[23]) S. Bramson, ZS. f. Phys. 66, S. 721, 1930.
[24]) E. Stahel und G. I. Sizoo, ZS. f. Phys. 66, S. 741, 1930.

§ 6.

Zusammenfassung.

Die Zahl der sekundären β-Strahlen, welche die homogene γ-Strahlung von Thor C″ ($\lambda = 4{,}8$ X. E.) in Metallfolien auslöst, wird in Abhängigkeit von Material und Dicke des Streustrahlers mit dem Zählrohr gemessen. Bei Verwendung dünner Folien zeigte es sich, daß praktisch alle ausgelösten β-Strahlen die Folie verlassen und gezählt werden können. Mit Hilfe der bekannten Absorptionskoeffizienten der γ-Strahlung ließ sich daraus die Zahl der γ-Quanten berechnen, die von 1 mg Radiothor mit der Wellenlänge 4,7 X. E. ausgestrahlt werden. Ihre Zahl ergab sich zu $(0{,}83 \pm 0{,}06) \cdot 10^7$ γ-Quanten pro Sekunde.

Die vorliegende Arbeit wurde im physikalischen Institut der Universität Tübingen ausgeführt.

Herrn Professor Geiger, der die Anregung zu dieser Arbeit gab, möchte ich auch an dieser Stelle für seine wertvollen Ratschläge und sein stets förderndes Interesse meinen herzlichsten Dank aussprechen. Ebenso bin ich Herrn Professor Gerthsen für seine dauernde rege Unterstützung sehr zu Dank verpflichtet.

Lebenslauf.

Als Sohn des Rechnungsrats Eugen Fünfer wurde ich, Ewald Fünfer, am 14. Oktober 1908 in Heidenheim geboren. Ich besuchte die Realgymnasien in Heidenheim, Schwäbisch-Hall und Reutlingen. In Reutlingen bestand ich im März 1927 die Reifeprüfung. Anschließend studierte ich an den Universitäten Berlin und Tübingen Physik, Mathematik, angewandte Mathematik und Chemie.